

Ber. nat.-med. Verein Innsbruck	Band 88	S. 87 - 97	Innsbruck, Okt. 2001
---------------------------------	---------	------------	----------------------

Absterben und Wuchsanomalien der Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) auf Trockenstandorten des Tschirgant-Bergsturzes (Tirol)

von

Walter OBERHUBER, Wolfgang HOFBAUER und Werner KOFLER¹⁾

Mortality and Growth Anomalies of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing on drought exposed sites at the Tschirgant Landslide (Tyrol)

Synopsis: Causes of mortality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) exposed to soil dryness were evaluated by analyzing radial increment growth of dead and surviving trees. Tree-ring growth data from 58 dead standing trees (mean age 133 yr \pm 32) were employed as long-term records of tree vigor. Year-to-year variation of increment growth from surviving trees (n = 108; mean age 128 yr \pm 23) from the same sites were utilized for comparison.

Most of the dead trees had growth patterns prior to mortality that included stepwise growth declines indicative of short-term stresses. Consulting climate records indicated that the primary climate factor which caused a persistent growth reduction and loss of tree vigor leading to tree mortality was soil moisture deficit in early spring. Soil depth was directly correlated with tree height and increment growth ($p < 0.001$) and indirectly with the number of dead trees. Since drought stress occurred before shoot and radial stem growth recommenced, limited water availability in early spring is considered to damage the mycorrhizal associated fine root system extending below the soil surface.

Dead and surviving trees showed the same response to year-to-year climate variation and comparable yearly increments were found prior to 1913, where natural thinning was initiated by a single short-term climatic stress. Though the individual mortality process extended to about seven decades (71 yr \pm 9) and ultimately might have been caused by semiparasitic mistletoe and/or pathogen attack as indicated by widespread growth anomalies, it is suggested that an increase in the frequency and intensity of drought stress in early spring will persistently change the structure of this xeric forest ecosystem.

1. Einleitung:

Eine ausreichende Wasserversorgung während der Vegetationszeit zählt zu den grundlegenden Voraussetzungen des Pflanzen- bzw. Baumwachstums. In gemäßigten Klimazonen wird Wassermangel als der ausschlaggebende Umweltfaktor angesehen, der vorübergehende Wachstumseinbußen als auch das Absterben von nicht trockentoleranten oder konkurrenzschwachen Baumarten bewirkt (INNES 1994).

¹⁾ Anschrift der Verfasser: Univ. Doz. Dr. W. Oberhuber, Mag. W. Hofbauer und Mag. W. Kofler, Institut für Botanik der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Sternwartestraße 15, A-6020 Innsbruck; e-mail: Walter.Oberhuber@uibk.ac.at

Im inneralpinen Trockental des Inn zwischen Pfunds und Innsbruck stocken auf flachgründigen südexponierten Standorten verbreitet lichte, zumeist schlechtwüchsige Kiefernwälder (PITSCHMANN et al. 1970, 1973). Mit Hilfe eines auf Jahrringanalysen basierenden Klima-Wachstums-Modells konnte an mehreren Standorten nachgewiesen werden, dass die Jahr-zu-Jahr-Variabilität des Dickenwachstums der Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) in engem Zusammenhang mit Niederschlagsschwankungen steht (OBERHUBER & MAYER 1998, OBERHUBER et al. 1998, OBERHUBER & KOFLER 2000 und unveröffentlichte Ergebnisse). Die durch Wassermangel induzierte Wachstumslimitierung wird durch geringe Niederschläge im Frühjahr, dem niedrigen Wasserspeichervermögen der skelettreichen, meist flachgründigen Kalkböden und einer erhöhten Evapotranspiration unter Föhn-Einfluss verursacht. Als ein weiterer Hinweis auf das Wirken von Trockenstress kann auch die geringe Vitalität (Krüppelwuchs, starker Schädlingsbefall) und der hohe Anteil an abgestorbenen Bäumen in diesen Beständen gelten.

Da bei einer Häufung und/oder Ausdehnung von Dürreperioden als Folge des weltweiten Klimawandels mit einer verstärkten Stressbelastung an diesen Trockenstandorten zu rechnen ist, stellt die Ermittlung der Ursachen des bestehenden Kiefernsterbens eine notwendige Voraussetzung dar, um die Empfindlichkeit und die Reaktion dieser Waldökosysteme auf zukünftige Klimaänderungen beurteilen zu können (FRANKLIN et al. 1987, BENISTON & INNES 1998).

Ziel der vorliegenden dendroökologischen Untersuchung war es daher festzustellen, ob Niederschlagsmangel bzw. Dürreperioden irreversible Wachstumsreduktionen bei Kiefern bewirken, die zum Absterben der Bäume und letztlich zur Bestandesauflichtung führen. Da der ausgewählte Bestand am Tschirgant-Bergsturz zu einer im Inntal auf südexponierten Hanglagen verbreiteten Waldgesellschaft zählt (PITSCHMANN et al. 1970, 1973), kann die Aufklärung der Ursache des Kiefernsterbens Aufschluss darüber geben, bei welchen Änderungen des Lokalklimas mit einem Anstieg der Absterberate auf Trockenstandorten des Oberinntales zu rechnen ist.

2. Untersuchungsgebiet:

Der Tschirgant-Bergsturz, der auf etwa 3000 Jahre vor heute (1187-832 BC) datiert wird (PATZELT & POSCHER 1993), befindet sich am orographisch rechten Inn-Ufer am Eingang des Ötztales auf etwa 750 m Meereshöhe. Das Bergsturzmaterial setzt sich vorwiegend aus schwer verwitterbarem, mineral- und nährstoffarmen Wettersteinkalk und -dolomit zusammen (KLEBELSBERG 1935). Die klimatischen Gegebenheiten am Eingang des Ötztals sind als relativ kontinental zu betrachten; im Zeitraum 1921 - 1990 betrug die mittlere jährliche Niederschlagsmenge 714 mm und die mittlere Jahrestemperatur 7.3 °C. In mehr als 30 % der Jahre stellt das Frühjahr die trockenste Jahreszeit dar (FLIRI 1975).

Ein lichter schlechtwüchsiger Schneeheide-Kiefernwald (*Erico-Pinetum typicum*) über geringmächtiger Protorendzina (Bodentiefe <30 cm) bildet im Untersuchungsgebiet die dominante Pflanzengesellschaft (vgl. MAIR 1997), wobei eine mittlere Bestandeshöhe von ca. 8 m erreicht wird. Die geringe Wasserspeicherkapazität der flachgründigen, skelettreichen Böden führt zu einer hohen Sensitivität des Dickenwachstums gegenüber jährlichen Niederschlagsschwankungen (OBERHUBER et

al. 1998).

3. Methodik:

3.1. Dendrochronologische Techniken:

Die Entnahme von Bohrkernen (2 Radien/Baum) erfolgte mit einem Zuwachsbohrer in Brusthöhe (1.3 m) jeweils von gegenüberliegenden Seiten und im rechten Winkel zur Falllinie zur Vermeidung von Bereichen mit Reaktionsholz (vgl. SCHWEINGRUBER 1996). Anschließend wurden die Bohrkernluft getrocknet, auf Holzleisten fixiert, die Querschnittsfläche mit einer scharfen Rasierklinge abgezogen und zur Kontrastverstärkung Kreidestaub eingebracht (PILCHER 1990). Da Jahreszuwächse gegenüber jährlichen Niederschlagsänderungen empfindlicher als Dichtewerte reagieren (KIENAST 1985), wurden die Jahrringbreiten mit Hilfe eines Linearmesstisches und einer speziellen Software (TSAP) auf 0.01 mm vermessen. Die absolute Datierung der Jahrringreihen der lebenden Bäume wurden mit dem Programm COFECHA (HOLMES 1994) überprüft und eine Chronologie (= Mittelkurve datierter Jahrringbreitenwerte) erstellt. Die abgestorbenen Bäume wurden mit dieser Chronologie synchronisiert, um die Zuwächse jahrgenau datieren zu können (vgl. FRITTS & SWETNAM 1989).

Die Standardisierung der Jahrringreihen diente der Eliminierung langfristiger Schwankungen, die im Zusammenhang mit Alterungsprozessen und der Bestandesentwicklung stehen (COOK 1987). Sie erfolgte mittels eines zweistufigen Trendeliminierungsverfahrens unter Einbeziehung einer autoregressiven Modellierung (Programm ARSTAN; COOK & KAIRIUSKSTIS 1990, HOLMES 1994) und diente der Ermittlung der Synchronität des Wachstums lebender und abgestorbener Bäume.

Die Erfassung der Bodentiefe erfolgte mehrfach im Nahbereich aller ausgewählten abgestorbenen Bäume mittels einer Metallsonde, wobei für nachfolgende Auswertungen Mittelwerte berechnet wurden. Die Höhe der abgestorbenen Bäume konnte aufgrund der durchwegs geringen Bestandeshöhen und lichten Bestandesstruktur durch Abschätzungen erfasst werden.

3.2. Klimadaten:

Die Berechnung monatlicher Niederschlagssummen und die Ermittlung von Trockenperioden erfolgten an Hand von Klimaaufzeichnungen der meteorologischen Station Ötz (ca. 5 km vom Untersuchungsgebiet entfernt) mit Ausnahme des Jahres 1885, für welches auf Erhebungen der Station Landeck (ca. 20 km entfernt) zurückgegriffen werden musste. Die Klimadaten wurden vom Hydrographischen Dienst, Innsbruck, zur Verfügung gestellt.

4. Ergebnisse:

4.1. Baumwachstum und Umweltfaktoren:

Die ausgewerteten 58 abgestorbenen und 108 lebenden Bäume zeigen nicht nur ein vergleichbares Durchschnittsalter von ca. 130 Jahren, sondern auch eine weitgehend identische Altersstruktur (Verteilung nicht dargestellt). Hingegen unterscheiden sich die Zuwachsraten (Jahrringbreite), die im Mittel bei abgestorbenen Bäumen 0.52 mm und 0.69 mm bei lebenden Bäumen betragen, signifikant. Ferner weisen die höheren Autokorrelationswerte der Jahrringreihen abgestorbener Bäume auf einen stärkeren Einfluss des Vorjahres auf das Wachstum im Folgejahr hin (Tab. 1).

In Abb. 1 wird der Verlauf des jährlichen Zuwachses lebender und abgestorbener Bäume sowie die Belegungsdichte der Chronologien dargestellt. Die Synchronisierung der standardisierten Chronologien (vgl. Methodik) zeigt im Zeitraum 1851 - 1990 (Belegungsdichte >15 Bäume) eine hohe Übereinstimmung in der Reaktion auf die jährlich schwankenden Klimabedingungen (Gleichläufigkeit W 89 %, $p < 0.001$, vgl. ECKSTEIN & BAUCH 1969; t -Wert 16.7, vgl. BAILLIE & PILCHER 1973).

Beide Chronologien weisen im Jahr 1885 einen abrupten Wachstumseinbruch auf, der als eine Reduktion der Jahrringbreite um ≥ 25 % verglichen zur mittleren Jahrringbreite der letzten vier Jahre definiert wird (cf. SCHWEINGRUBER et al. 1990). Weitere Wachstumseinbrüche treten in abgestorbenen Bäumen in den Jahren 1913, 1934/1937 und 1973 auf, die zu einer stufenweisen Reduktion des radialen Wachstums und schließlich zum Absterben der Bäume führten.

Wie aus Tab. 2 hervorgeht, sind diese Stressjahre durch länger andauernde Trockenperioden im Frühjahr (insbesondere April) gekennzeichnet. Während der Periode des Sprosswachstums (Mitte Mai - Ende August) werden hingegen die langjährigen Durchschnittswerte der monatlichen Niederschlagssummen zumeist erreicht und z.T. überschritten. Abb. 2 zeigt, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen Bodentiefe und Wachstumsgrößen (Höhen- und Dickenwachstum) sowie der Anzahl abgestorbener Bäume besteht.

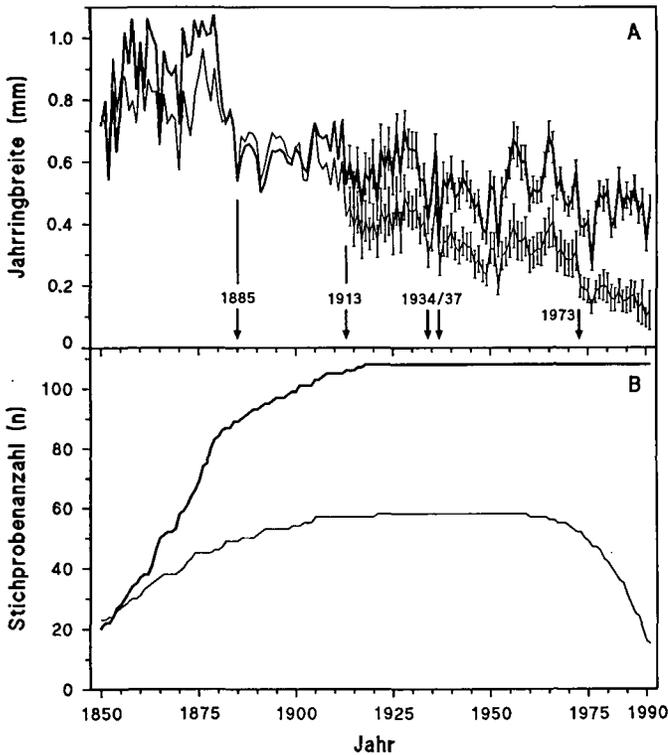
Obwohl von den 58 jahrringanalytisch untersuchten, abgestorbenen Bäumen 30 eine deutlich schirmförmige Krone aufwiesen, die möglicherweise durch einen frühzeitigen Verlust der Apikalkontrolle aufgrund von Trockenstress verursacht wird (ZIMMERMANN & BRAUN 1971), konnte eine Beziehung zu Umwelt- bzw. Wachstumsparametern nicht gefunden werden (Daten nicht dargestellt).

Tabelle 1: Statistische Parameter der Chronologien lebender und abgestorbener Bäume
(MW \pm SD = Mittelwert \pm Standardabweichung)

Chronologie	Chronologie- länge	n Bäume ^a	Alter ^b (Jahre) MW \pm SD	Jahrring- breite ^c (1/100mm) MW \pm SD	Mittlere Sensitivität ^d	Autokorrelation ^e		
						lag 1	lag 2	lag 3
abgestorbene								
Bäume	1778-1995	58	133 \pm 32 (215)	52,4 \pm 22,2	0,145	0,366 ^e	0,183 ^e	0,076
lebende								
Bäume	1790-1995	108	128 \pm 23 (205)	68,7 \pm 23,4	0,170	0,216 ^e	-0,047	0,023

^a 2 Radien/Baum; ^b Kambialalter in Brusthöhe; MW \pm SD (Maximum); ^c Signifikant unterschiedlich ($p < 0,001$);

^d Die mittlere Sensitivität gibt die durchschnittliche Änderung aufeinanderfolgender Reihenwerte, bezogen auf deren Mittelwert, an. Eine hohe Sensitivität ist ein Hinweis für eine starke Abhängigkeit des Baumwachstums von schwankenden Umwelteinflüssen (FRITTS 1976). Signifikant positive Autokorrelationen weisen auf einen Einfluss des Vorjahres auf das Folgejahr hin.; ^e Signifikant von Null unterschieden (BOX & JENKINS 1970)

**Abb. 1:**

(A) Chronologien lebender (—) und abgestorbener (---) Bäume und (B) Belegungsdichte für den Zeitraum 1850 - 1990. In A sind für die Jahre nach 1913 die 95 % Konfidenzintervalle des Mittelwerts aufgetragen.

Tabelle 2: Ununterbrochene Trockenperioden im Frühjahr (Niederschlag <1 mm in ≥ 7 Tage) und Niederschläge im April und während der Wachstumsperiode (Mai - August) in Prozent des langjährigen Mittels von 1901 - 1990 für das Jahr 1885 bzw. 1911 - 1990 für alle weiteren Jahre, in denen abrupte Wachstumsreduktionen in der Jahrringchronologie abgestorbener Bäume auftreten.

Jahr	Trockenperiode*	Niederschlag (%)	
		April	Mai - August
1885	1.4. - 30.4.	0	118
1913	18.4. - 1.5.	61	96
1934	24.3. - 8.4. 24.4. - 1.5.	69	120
1937	11 Tage/<4 mm im April	53	106
1973	19.3. - 7.4. 18.4. - 24.4. 26.4. - 5.5.	61	89

* Weitere Trockenperioden wurden vom 1.2. - 17.3. 1913 und 3.2. - 26.2. 1934 aufgezeichnet.

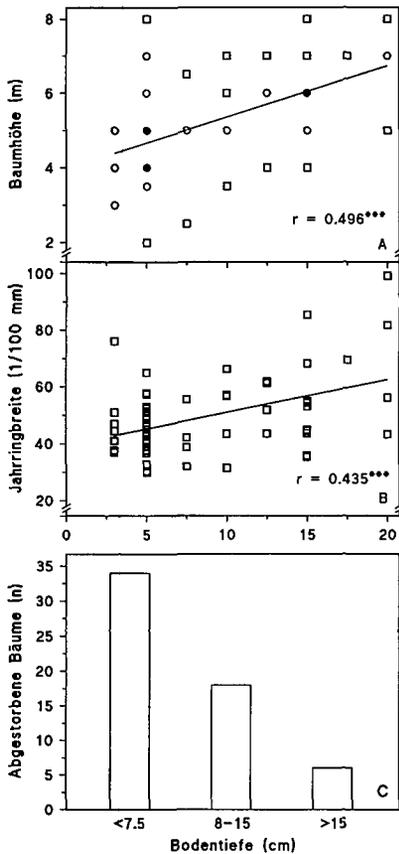


Abb. 2:

Beziehung zwischen Bodentiefe und (A) Baumhöhe, (B) Jahrringbreite (Mittelwerte individueller Jahrringreihen) und (C) Anzahl abgestorbener Bäume ($n = 58$). 1, 2 - 4 und ≥ 5 sich deckende Datenpunkte sind mit □, ○, bzw. ● gekennzeichnet.

4.2. Parasiten- und Schädlingsbefall:

Verbreitet ist in den Beständen ein Absterben von Gipfel- und Seitentrieben sowie das Auftreten von Stammhypertrophien durch den Befall der Föhrenmistel (*Viscum album* ssp. *austriacum* [Wiesbaur] Vollm.) nachzuweisen (Abb. 3 A-B). Weiters treten Stammdeformationen wie "Posthornbildung", Zwieselwuchs, strauchförmiges Wachstum und hexenbesenartige Kurztriebentwicklung auf (Abb. 3 C-F). Als deren Erreger gelten Kiefernwickler-Arten (insbesondere der Kiefernknospentriebwickler, *Rhyacionia buoliana* Schiff.; Lepidoptera, Tortricidae; ESCHERICH 1931, HARTMANN et al. 1988 und W. SCHEDL., pers. Mitteilung). Larven von *Rh. buoliana* entwickeln sich bevorzugt in den Terminalknospen und bewirken durch die Fraßtätigkeit im Meristembereich während der Hauptwachstumsperiode im Mai diese auffälligen Wuchsstörungen. Im Frühjahr 2000 wurde auf einzelnen Flächen ein massiver Befall mit *Rh. buoliana*-Raupe festgestellt. Das Schadbild reichte dabei von einer teilweisen Beeinträchtigung des Vegetationskegels mit Stadien der "Posthornbildung" bis zur vollständigen Zerstörung des Apikalmeristems verbunden mit dem Absterben von Gipfel- und Seitentrieben.

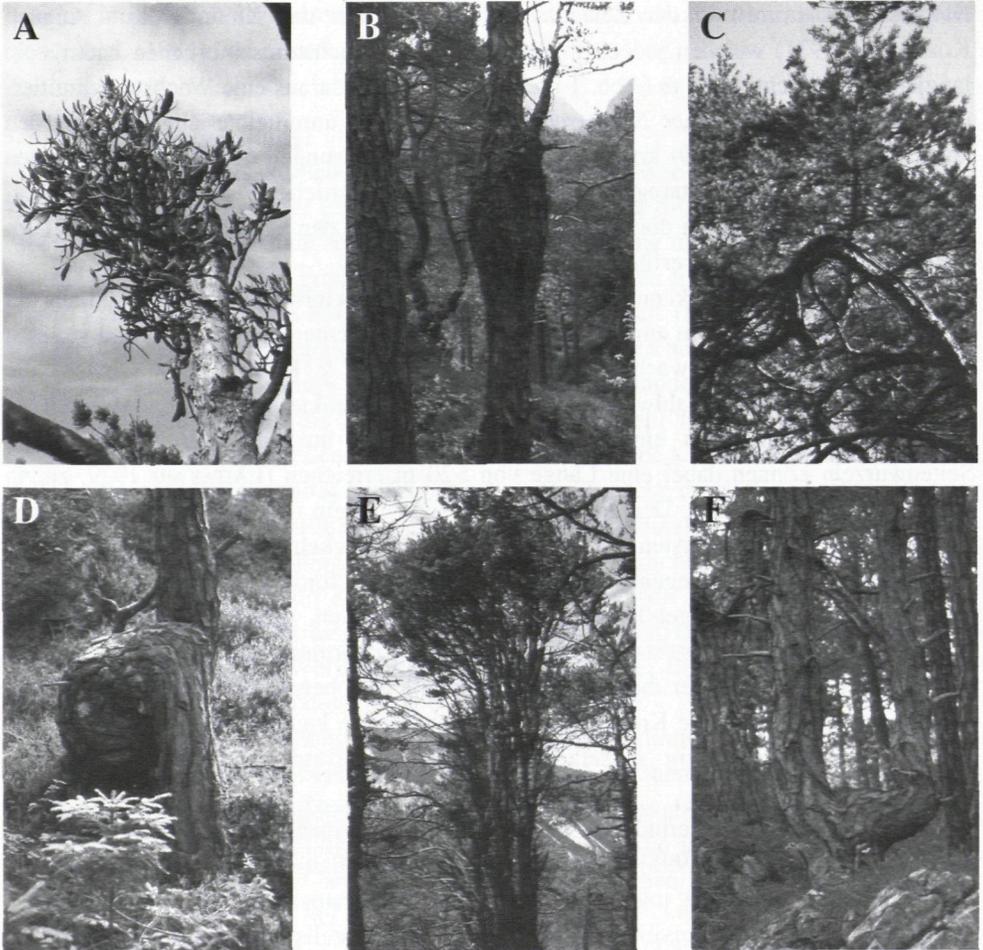


Abb. 3: Wuchsanomalien: (A) Abgestorbener Gipfeltrieb und (B) Stammhypertrophie verursacht durch starken Föhrenmistelbefall (*Viscum album* ssp. *austriacum*); Sprossdeformationen hervorgerufen durch Fraßtätigkeit der Larven des Kiefernknospentriebwicklers (*Rhyacionia buoliana*) im Spitzenmeristembereich: (C, D) Bischofsstab-ähnliche Sprosskrümmungen, (E) strauchförmiges Wachstum, (F) Zwieselwuchs. Wuchsanomalien in (E) und (F) können auch durch andere Schadinsekten herbeigeführt werden.

5. Diskussion:

5.1. Schädigung der Feinwurzeln als Ursache der Wachstumsreduktionen:

Für das Pflanzenwachstum ist von grundsätzlicher Bedeutung, dass die Wasserversorgung dann sichergestellt ist, wenn der größte Bedarf herrscht, also in der mit Knospenaustrieb, Blattentfaltung und Sprosswachstum einsetzenden Vegetationszeit, die durch die Photoperiode und Temperatur reguliert wird (LARCHER 1995). Die festgestellten

Niederschlagssummen in der Zeit des Sprosswachstums der Kiefer (Mai - August; KOZLOWSKI 1971) weichen jedoch in den Jahren mit Wachstumseinbrüchen kaum vom langjährigen Durchschnitt ab (Abb. 1 und Tab. 2), sodass daraus eine Wachstumslimitierung aufgrund sommerlicher Niederschlagsdefizite nicht unmittelbar abgeleitet werden kann. Auch KÖRNER (1989) konnte im Rahmen von Messungen des photosynthetischen Gaswechsels keine stomataregulierend wirksamen Wasserdefizite während der Vegetationsperiode feststellen, da die Photosynthese primär von den aktuell herrschenden Umweltbedingungen (Wasserverfügbarkeit) gesteuert wird.

Demgegenüber ist bekannt, dass der Beginn des Wurzelwachstums im Frühjahr bei Nadel- und Laubbäumen in enger Beziehung mit der Bodentemperatur steht und vielfach Wochen vor dem Sprosswachstum einsetzt (POLOMSKI & KUHN 1998). Obwohl die Ausbildung einer tiefen Pfahlwurzel für die Kiefer als charakteristisch gilt, entwickelt sie auf extremen Standorten ein flaches und horizontal ausgedehntes Wurzelsystem. Seitenwurzeln können dabei eine Länge von >20 m erreichen (LAITAKARI 1929, zit. in POLOMSKI & KUHN 1998). Der größte Teil der Feinwurzeln (>60 %) wird unter diesen Bedingungen in den obersten 10 cm Bodentiefe entwickelt (KALELA 1950). Die im Untersuchungsgebiet vorliegenden stickstoffarmen Böden fördern zudem die Ausbildung einer sog. "Stickstoffmangel-Tracht", d.h. eines extensiven, oberflächlich streichenden Wurzelsystems (LYR & HOFFMANN 1992). Die rasche Erwärmung der skelettreichen flachgründigen Böden und der hohe Feinwurzelanteil in oberen Bodenschichten, deren Oberfläche durch die lichte Kronenausbildung der Kiefern kaum beschattet wird, begünstigt somit ein frühzeitig einsetzendes Wurzelwachstum nach der winterlichen Ruheperiode.

Sich im Wachstum befindliche Zellen gelten als besonders empfindlich gegenüber Trockenstress (LARCHER 1995) und auftretende Wasserdefizite verursachen während der Wachstumsphase auch bei toleranten Arten eine Desorganisation der Wachstumsfunktionen, die mit einer irreversiblen Zerstörung von Wurzelzellstrukturen insbesondere bei plötzlich auftretender Dürre einhergehen können, was sich letztlich auch als Trockenmasseverlust manifestiert (KRAMER 1983, DREW 1987). Schäden an der Mykorrhizierung trockenexponierter Kiefern wurden auch von HASELWANDTER (mündl. Mitteilung, zit. in KÖRNER 1989) festgestellt. Da lebende und abgestorbene Kiefern in Jahren mit ausgeprägter Frühjahrstrockenheit starke Wachstumseinbrüche aufweisen (Abb. 1 und Tab. 2) und weiters eine enge Beziehung zwischen Bodentiefe und Wachstumsparametern sowie Überlebensfähigkeit festgestellt wurde (Abb. 2), lassen die Ergebnisse dieser Untersuchung darauf schließen, dass Trockenstress im Frühjahr sich infolge des Absterbens bzw. der Schädigung des Wurzelsystems nachhaltig auf das anschließende Sprosswachstum auswirkt. Als mögliche Ursachen können ein verzögerter Beginn des Knospenaustriebs bzw. der Kambiumaktivität (Dickenwachstum erfolgt vorwiegend zu Beginn der Vegetationsperiode), eine Verschiebung der Assimilatverteilung zu Gunsten des Wurzelsystems und/oder ein reduziertes Wasserabsorptionsvermögen des geschädigten Mykorrhiza-Feinwurzel-Komplexes gelten. Dass dem Stammwachstum unter Trockenstress eine geringe

Priorität hinsichtlich der Verteilung der Kohlenhydratreserven zukommt, wurde auch von GRIER & al. (1981) und WARING (1987) berichtet.

5.2. Bestandesentwicklung:

Das Durchschnittsalter lebender und abgestorbener Bäume von etwa 130 Jahren (Tab. 1) weist darauf hin, dass bei Einbeziehung der Wuchsdauer bis zur Bohrkernentnahme in Brusthöhe der überwiegende Anteil der untersuchten Bäume um 1850 - 1860 auskeimte. FLIRI (1998) berichtet von großflächigen Windbruchschäden im Untersuchungsgebiet im Jahre 1851. Einzelne ältere Bäume zeigen im Zeitraum nach 1850 abrupte Wachstumserholungen, die auf eine Verminderung des Konkurrenzdruckes nach Freistellung hinweisen, sodass von einer ausgedehnten Verjüngung des Kiefernbestandes zu dieser Zeit ausgegangen werden kann. Der auf die extreme Dürreperiode im Jahr 1885 folgende Wachstumseinbruch in Chronologien lebender und abgestorbener Bäume kann auf eine bestandesweite Reduktion der Baumvitalität zurückgeführt werden, welche durch die extremen Bodenbedingungen (vgl. ABETZ 1988) möglicherweise in Kombination mit Schädlings- bzw. Parasitenbefall keine Erholung in den Folgejahren ermöglichte. Bestandesdynamischen Modellen entsprechend (PEET & CHRISTENSEN 1987) ist davon auszugehen, dass aufgrund der wiederholten Trockenstressbelastung eine natürliche Auflichtungsphase einsetzte, die zu einer Ausdehnung des Wurzelsystems konkurrenzfähiger Bäume führte und diesen so eine Erholung in den folgenden Dürreperioden ermöglichte.

Die hohe Widerstandsfähigkeit der Kiefer gegenüber klimatischen Extremereignissen zeigt der langjährige Absterbeprozess, der im Mittel 71 ± 9 Jahre beträgt. Der Einfluss von Trockenperioden auf die Samenkeimung bzw. Sämlingsetablierung kann sich jedoch wesentlich von der Wachstumsreaktion erwachsener Bäume unterscheiden (KOZŁOWSKI 1972, PEET & CHRISTENSEN 1987). Diese ökophysiologischen Unterschiede aufeinanderfolgender Lebensphasen in der Empfindlichkeit gegenüber Umweltstressoren müssen bei einer Abschätzung der Bestandesentwicklung im Zuge von Klimaänderungen berücksichtigt werden.

6. Schlussfolgerung:

Aufgrund des festgestellten Einflusses von Dürreperioden auf das Wachstum und Absterben der Kiefer ist der Schwerpunkt zukünftiger Arbeiten darauf ausgerichtet, die räumliche und zeitliche Variabilität der Beziehung zwischen Niederschlägen und Baumwachstum in inneralpinen Trockentälern Tirols verstärkt zu untersuchen, um in Hinblick auf künftige Klimaänderungen die Stabilität dieser verbreiteten Waldökosysteme beurteilen zu können (vgl. BENISTON & INNES 2000).

7. Literatur:

- ABETZ, P. (1988): Untersuchungen zum Wachstum von Buchen auf der Schwäbischen Alb.-Allg Forst Ztg **156**: 177 - 187.
- BAILLIE, M.G.L. & J.R. PILCHER (1973): A simple cross-dating program for tree-ring research. - Tree Ring Bulletin **38**: 35 - 43.
- BENISTON, M. & J.L. INNES (Hrsg.) (1998): The impacts of climate variability on forests. Lecture notes in Earth Sciences, Springer-Verlag, Berlin, 329 pp.
- BOX, G.E.P & G.M. JENKINS (1970): Time series analysis, forecasting and control. - Holden-Day, San Francisco.
- COOK, E.R. (1987): The decomposition of tree-ring series for environmental studies. - Tree-Ring Bulletin **47**: 37 - 59.
- COOK, E.R. & L.A. KAIRIUSKSTIS (Hrsg.) (1990): Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences. - Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 394 pp.
- DREW, M.C. (1987): Function of root tissues in nutrient and water transport. - In: GREGORY P.J., J.V. LAKE & D.A. ROSE (Hrsg.) Root development and function. University Press, Cambridge, p. 71 - 101.
- ECKSTEIN, D. & J. BAUCH (1969): Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. Forstwissenschaftliches Centralblatt **88**: 230 - 250.
- ESCHERICH, K. (1931): Die Forstinsekten Mitteleuropas. Dritter Band. - Paul Parey, Berlin.
- FLIRI, F. (1975): Das Klima der Alpen im Raume von Tirol. - Monographien zur Landeskunde Tirols, Folge I, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck
- FLIRI, F. (1998): Naturchronik von Tirol, Beiträge zur Klimatographie von Tirol. - Universitätsverlag Wagner, Innsbruck, 369 pp.
- FRANKLIN, J.F., H.H. SHUGART & M.E. HARMON (1987): Tree death as an ecological process. - BioScience **37**: 550 - 556.
- FRITTS, H.C. (1976): Tree rings and climate. - Academic Press, London, 567 pp.
- FRITTS, H.C. & T.W. SWETNAM (1989): Dendroecology: a tool for evaluating variations in past and present forest environments. - Advances in Ecological Research **19**: 111 - 188.
- GRIER, C.C., K.A. VOGT, M.R. KEYES & R.L. EDMONDS (1981): Biomass distribution and above- and below-ground production in young and mature *Abies amabilis* zone ecosystems of the Washington, Cascades. - Canadian Journal Forest Research **11**: 151 - 167.
- HARTMANN, G., F. NIENHAUS & H. BUTIN (1988): Farbatlas Waldschäden. Diagnose von Baumkrankheiten. - Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 256 pp.
- HOLMES, R.L. (1994): Dendrochronology program library user's manual. Laboratory of Tree-Ring Research. - The University of Arizona, Tucson.
- INNES, J.L. (1994): Climatic sensitivity of temperate forests. - Environmental Pollution **83**: 237 - 243.
- KALELA, E. (1950): The horizontal roots in pine and spruce stands. - Acta for fenn **57**: 62-68.
- KIENAST, F. (1985): Dendroökologische Untersuchungen an Höhenprofilen aus verschiedenen Klimabereichen. - PhD Dissertation, Universität Zürich, Schweiz, 129 pp.
- KLEBELSBERG, v. R. (1935): Geologie von Tirol. - Verl. von Gebr. Borntraeger, Berlin, 872 pp.
- KOZŁOWSKI, T.T. (1971): Growth and development of trees, Vol I, Seed germination, ontogeny, and shoot growth, 443 pp.; Vol II, Cambial growth, root growth, and reproductive growth, 514 pp. - Academic Press, New York.
- KOZŁOWSKI, T.T. (1972): Seed biology, Vol II. - Academic Press, New York, 447 pp.
- KÖRNER, Ch. (1989): Die Bedeutung von Wassermangel und winterlicher Schadgasbelastung für das Waldsterben. In: Führer, E. & F. Neuhuber (Hrsg.) Waldsterben in Österreich: Theorien, Tendenzen, Therapien. - FIW-Symposium, 27. - 28. October 1988, Universität für Bodenkultur,

Wien, p. 127 - 138.

- KRAMER, P.J. (1983): Water relations of plants. - Academic Press, New York
- LAITAKARI, E. (1929): The root system of *Pinus sylvestris*. A morphological investigation. - Acta for fenn **33**: 1 - 380.
- LARCHER, W. (1995): Physiological plant ecology. - Springer Verlag, Berlin, 506 pp.
- LYR, H. & G. HOFFMANN (1992): Wachstum und Umwelt. - In: LYR, H., H.J. FIEDLER & W. TRANQUILLINI (Hrsg.): Physiologie und Ökologie der Gehölze. Gustav Fischer Verlag, Jena, p. 397 - 460.
- MAIR, P. (1997): Die Föhrenwälder der Bergsturzgebiete Tschirgant und Köfels (Tirol). - Unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Botanik der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, 138 pp.
- OBERHUBER, W. & S. MAYR (1998): Dendroökologische Untersuchung von Kiefernbeständen (*Pinus sylvestris* L.) auf Schuttmaterial des Tschirgant-Bergsturzes (Tirol). - Berichte nat.-med. Verein Innsbruck **85**: 35 - 45.
- OBERHUBER, W., M. STUMBÖCK & W. KOFLER (1998): Climate-tree-growth relationships of Scots pine stands (*Pinus sylvestris* L.) exposed to soil dryness. - Trees **13**: 19 - 27.
- OBERHUBER, W. & W. KOFLER (2000): Topographic influences on radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) at small spatial scales. - Plant Ecology **146**: 231 - 240.
- PATZELT, G. & G. POSCHER (1993): Der Tschirgant-Bergsturz. Geologie des Oberinntaler Raumes. - Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt, Tirol: 208 - 213.
- PEET, R.K. & N.L. CHRISTENSEN (1987): Competition and tree death. - BioScience **37**(8): 586 - 595.
- PILCHER, J.R. (1990): Sample preparation, cross-dating and measurement. - In: COOK E.R. & L.A. KAIKUKISTIS (Hrsg.): Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences. - Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 40 - 51.
- PITSCHMANN H., H. REISIGL, H.-M. SCHIECHTL & R. STERN (1970) Karte der aktuellen Vegetation von Tirol 1/100.000, 1. Teil: Blatt 6, Innsbruck-Stubai Alpen. Documents pur la carte de la Vegetation des Alpes. Grenoble. **VII**. 7 - 34.
- PITSCHMANN H., H. REISIGL, H.-M. SCHIECHTL & R. STERN (1973): Karte der aktuellen Vegetation von Tirol 1/100.000, 3. Teil: Blatt 5, Silvretta und Lechtaler Alpen. Documents pur la carte de la Vegetation des Alpes. Grenoble. **IX**. 33 - 52.
- POLOMSKI, J. & N. KUHN (1998): Wurzelsysteme. - Eidgen Forschungsanstalt Wald, Schnee, Landschaft, Birmensdorf, Verlag P Haupt, Bern, 290 pp.
- SCHWEINGRUBER, F.H., D. ECKSTEIN, F. SERRE-BACHET & O.U. BRÄKER (1990): Identification, presentation and interpretation of event and pointer years in dendrochronology. - Dendrochronologia **8**: 9 - 38.
- SCHWEINGRUBER, F.H. (1996): Tree Rings and Environment. Dendroecology. - Eidgen Forschungsanstalt Wald, Schnee, Landschaft, Birmensdorf, Verlag Haupt, Bern, 609 pp.
- WARING, R.H. (1987): Characteristics of trees predisposed to die. - BioScience **37**(8): 569 - 574.
- ZIMMERMANN, M.H. & C.L. BROWN (1971): Trees, structure and function. - Springer-Verlag, Berlin, 336 pp.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen Verein Innsbruck](#)

Jahr/Year: 2001

Band/Volume: [88](#)

Autor(en)/Author(s): Hofbauer Wolfgang K., Oberhuber Walter, Kofler Werner

Artikel/Article: [Absterben und Wuchsanomalien der Kiefer \(Pinus sylvestris L.\) auf Trockenstandorten des Tschirgant-Bergsturzes \(Tirol\). 87-97](#)